

Pertes en carbone par érosion et drainage et variations de stocks de C en deux ans sous différentes pratiques en culture bananière (Martinique)

E. Blanchart ^{1*}, E. Roose ^{1*}, B. Khamsouk ^{2*}, M. Dorel ^{3*}, J.Y. Laurent ¹,
C. Larré-Larrouy ¹, L. Rangon ⁴, J.P. Pinot ⁴ & J. Louri ⁴

¹ IRD, Laboratoire MOST, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France

² 9c Lotissement Macabou, 97200 Vauclin, Martinique

³ CIRAD-FHLOR, Station de Neufchâteau, 97130 Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe

⁴ IRD, Laboratoire BOST, BP 8006, 97259 Fort-de-France cedex, Martinique

* Eric.Blanchart@mpl.ird.fr, Eric.Roose@mpl.ird.fr, khamsouk@wanadoo.fr, marc.dorel@cirad.fr

Résumé

Aux Antilles, la culture de la banane semble affecter la qualité des sols et a des conséquences importantes sur l'environnement en terme de pollution des eaux de surface ou souterraines par les pesticides. Des nouvelles techniques de culture sont actuellement testées dans le but de limiter les intrants de pesticides, les pertes en pesticides et nutriments, les pertes en terre par érosion et les pertes en carbone C du sol. Le suivi des teneurs en matière organique MO du sol et des exportations de C sous forme gazeuse (par minéralisation de la MO), solide (par érosion) et soluble (dans les eaux de ruissellement et de drainage) détermine en effet la durabilité d'un agro-écosystème et la capacité d'un système sol-plante à stocker ou libérer du C. Les implications sont donc agronomiques et environnementales (limitation des gaz à effet de serre). A la Martinique, des rotations culturales (canne à sucre, ananas à plat, ananas mécanisé et billonné) ont été introduites ou non dans une culture de banane. Trois niveaux de pente ont été étudiés (10, 25 et 40 %). les pertes en C sous forme solide et soluble ont été mesurées dans chacun de ces traitements et comparés avec des parcelles en sol nu. Parallèlement, les variations de stocks de C ont été suivies sur deux ans. Les résultats montrent que les stocks de C évoluent peu en deux ans (légère augmentation ou conservation des stocks), excepté dans les parcelles "sol nu" où les stocks perdent 2 à 4 tC/ha/an. Les pertes en C sont relativement importantes, notamment sous forme solide dans les parcelles "sol nu" (2,576 à 6,076 tC/ha/2 ans selon la pente), intermédiaires et principalement sous forme solide dans la parcelle "ananas billonné" (0,693 tC/ha/2 ans), et faibles dans les parcelles en canne à sucre (0,086 à 0,094 tC/ha/2 ans), ananas à plat (0,091 tC/ha/2 ans) et banane pérenne (0,098 à 0,108 tC/ha/2 ans) (dans ces dernières parcelles, les pertes en C se font essentiellement sous forme soluble). Après avoir estimé ou calculé les entrées de C, nous avons pu calculer les bilans de C et déduire les pertes par minéralisation qui sont bien supérieures dans les traitements cultivés aux pertes par érosion ou drainage (> 10 tC/ha/2 ans). Sur la parcelle "sol nus", les pertes de C par minéralisation (4,81 tC/ha/2 ans) sont du même ordre de grandeur que les pertes de C par érosion + drainage.

Mots-clés : Stocks de carbone, Bilan de carbone, Carbone érodé, Carbone soluble, Culture bananière, Martinique

Abstract

In the West Indies, banana crop seems to affect soil quality and has dramatic environmental consequences in terms of water pollution by pesticides. New agricultural

practices are tested in order to decrease pesticide inputs, pesticide and nutrient losses, soil losses and carbon C losses by erosion and leaching. The study of the variations of soil organic matter content and of carbon exportation (in gaseous, solid and dissolved forms) characterizes the sustainability of agrosystems and the capacity of a soil-plant system to store or loose C. These systems may thus have agricultural and environmental (reducing Greenhouse Gases) benefits. In Martinique, agricultural rotations (sugar cane, mechanized pineapple, superficial tilled pineapple) have been introduced or not in banana cropping systems. Three slope levels have been studied: 10, 25 and 40 %. C losses (in solid and dissolved forms) have been measured in each treatment during two years and compared with bare soil situations. As a complement, soil C stocks variations were followed during the same time. Results showed that C stocks did not significantly vary (weak increase or conservation) except in the bare soil situations where stocks lost from 2 to 4 tC/ha/yr. C losses are relatively important and mainly in a solid form in bare soil situations (2.576 to 6.076 tC/ha/2yr depending on slope), medium (and especially in a solid form) in the mechanized pineapple plot (0.693 tC/ha/2yr) and very low (and especially in a dissolved form) in sugar cane (0.086 to 0.094 tC/ha/2yr), superficial tilled pineapple (0.091 tC/ha/2yr) and banana crops (0.098 to 0.108 tC/ha/2yr). After the estimation or calculation of C inputs in these different systems, it was possible to calculate C budgets and to deduce C losses by mineralization. These losses were showed to be much more higher than losses by erosion and leaching in cropping systems (> 10 tC/ha/2yr). In the bare soil situations, C losses by mineralization (4.81 tC/ha/2yr) were almost equal to losses by erosion + leaching.

Key-words: Carbon stocks, Carbon budget, Eroded carbon, Dissolved carbon, Banana crop, Martinique

1. INTRODUCTION

Les préoccupations sur l'augmentation conjointe des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et de la température à l'échelle de la planète soulèvent des questions concernant le rôle des sols en tant que puits de carbone C (Bouwmann, 1989 ; Detwiler, 1986 ; Lugo & Brown, 1993 ; Schlesinger, 1984) et le devenir du C perdu par érosion et drainage et nécessitent de connaître les bilans de C à différentes échelles (global, régional, local) (Turner et al., 1997). Par ailleurs, la conservation et/ou l'augmentation des stocks de C a des conséquences importantes sur la fertilité des sols (Feller et al., 1996). Aussi, l'évolution à moyen et long terme des stocks organiques des sols est un indicateur à prendre en compte dans le jugement sur la durabilité des agroécosystèmes et la protection de l'environnement. C'est pourquoi les pratiques culturales qui permettent de conserver, voire d'accroître, les stocks de C du sol permettent généralement une meilleure production végétale, une diminution de l'érosion et une meilleure diversité biologique ; elles permettent également de limiter la production de gaz à effet de serre.

Dans les Antilles Françaises, la culture de la banane, pratiquée de manière intensive, est la principale production végétale : à la Martinique, elle occupe plus de 11.800 ha et a produit plus de 305.000 tonnes en 1999 (Agreste DOM, 1999). Par ailleurs, ces cultures sont généralement pratiquées sur de fortes pentes ce qui, associé à l'agressivité des pluies tropicales, pourrait provoquer des pertes en terre par érosion relativement importantes. Enfin, cette culture souffre beaucoup de parasites (nématodes, charançons, champignons) et nécessite l'utilisation massive de pesticides et des replantations fréquentes. Dans le cadre d'une pratique agricole traditionnelle, une bananeraie de plus de deux ans reçoit chaque année 2 à 3 traitements de nématicides, 1 à 2 applications d'insecticides, 4 à 12 émissions aériennes

de fongicides, 3 à 5 applications d'herbicides et des quantités importantes d'engrais (NPK) (Chabrier et Dorel, 1998). Les conséquences sur l'environnement sont donc particulièrement importantes et des cas de pollution des sols et des eaux de surface ont déjà été signalés (Balland et al., 1998). La mise en place d'une agriculture raisonnée permettrait ainsi d'améliorer la qualité des eaux et des sols. Le CIRAD-FHLOR a donc mis en place, en 1999, un dispositif expérimental destiné à tester l'effet d'un certain nombre de rotations culturales sur l'érosion et sur l'utilisation des pesticides (Dorel et al., 1996). Trois rotations ont été testées : la canne à sucre, l'ananas mécanisé et billonné (traditionnel) et l'ananas cultivé à plat. Des parcelles d'érosion ont été installées pour chacune de ces rotations et les pertes en terre et en pesticides ont été comparées avec des bananeraies pérennes et des témoins en "sol nu" (Khamsook, 2001).

Nous avons profité de ce dispositif de terrain pour mesurer les pertes en C par érosion (C sous forme solide et soluble) et par drainage (C sous forme soluble) et suivre l'évolution des stocks de C dans ces différents traitements. Enfin, les entrées de C (pluie, litière, racines) ont été estimées ou calculées, ce qui a permis de calculer des bilans de C et de voir la part de l'érosion par rapport aux pertes gazeuses par minéralisation.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Description du site d'étude

Entourée par l'Océan Atlantique à l'est et la Mer des Caraïbes à l'ouest (latitude : 14-16° N ; longitude : 60-62° W), la Martinique est une île volcanique (1080 km²) appartenant à l'archipel des Petites Antilles. Son relief est accidenté avec des montagnes volcaniques au nord et au sud, séparées par de petites plaines fragmentées. Le climat est de type tropical humide, caractérisé par une pluviosité annuelle moyenne variant de 1200 à 8000 mm/an du sud de l'île au sommet de la Montagne Pelée (1393 m) et par une température annuelle moyenne d'environ 26°C. Il y a deux saisons : la saison sèche (ou carême) de janvier à juin et la saison des pluies (ou hivernage) marquée parfois par des passages de tempêtes tropicales et cyclones. L'étude a été menée sur le site de "Rivière-Lézarde" (station expérimentale du CIRAD-FHLOR) dans la région centrale de l'île. Le sol rencontré, développé à partir de projections cendreuses et/ou ponceuses, est du type sol brun-rouille à halloysite (Colmet-Daage & Lagache, 1965) ou nitisol (en classification FAO) dont les caractéristiques sont les suivantes : sol superficiel acide, peu dense, riche en argile et en matière organique (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques moyennes de la couche superficielle (0-10 cm) du sol brun-rouille à halloysite ou nitisol (FAO) d'origine volcanique.

	<i>Caractéristiques</i>
Densité apparente (g/cm ³)	0,77-0,92
pH eau	4,9-5,7
Teneur en sable (%)	16
Teneur en limon (%)	16
Teneur en argile (%)	68
Teneur en matière organique (%)	2,7-3,3
Indice d'érodibilité K*	0,08-0,1

* selon le nomogramme de l'érodibilité (Wischmeier et al., 1971).

2.2. Parcelles expérimentales / parcelles d'érosion

L'étude a été menée sur différentes situations expérimentales représentant (i) soit la culture bananière telle qu'elle est pratiquée habituellement aux Antilles, de façon intensive, sans rotations, (ii) soit des alternatives à cette culture bananière pérenne et présentant des rotations avec différentes cultures comme la canne à sucre ou l'ananas (Khamsouk, 2001). Enfin, des parcelles en sol nu ont été installées pour estimer l'érodibilité des sols étudiés. Trois niveaux de pente ont également été pris en compte : 10 %, 25 % et 40 %. Dix parcelles installées au début de l'année 1999 ont donc servi à nos mesures :

- Trois parcelles en sol nu situées sur trois pentes à 10 %, 25 % et 40 % : le sol est travaillé sur 20 cm, puis égalisé chaque année avant la campagne de mesure.
- La canne à sucre avec paillage de résidus de culture est un traitement proposé en jachère des systèmes intensifs pour réduire les risques d'érosion. Trois parcelles sont installées sur trois pentes à 10 %, 25 % et 40 % : les cannes sont plantées sur 13 lignes horizontales équidistantes de 1,5 m, avec un travail réduit du sol et un paillage des interlignes.
- La bananeraie établie représente la culture bananière âgée d'au moins deux ans et dont les résidus organiques sont mis en bandes de paillis perpendiculaires à la pente. Deux parcelles (à densité courante : 1800 pieds/ha) sont mises en place sur des pentes proches de 10 % : ce traitement n'a pas été labouré durant les deux années de mesures ni les années précédentes.
- L'ananas mécanisé et billonné dans le sens de la pente est un système intensif pratiqué chez les planteurs de l'île. Cette parcelle, située sur une pente proche de 10 % a subi un travail du sol intensif avec enfouissement des résidus de bananeraie avant la plantation des ananas en sept rangs (densité : 42500 pieds/ha).
- L'ananas à plat avec paillage des interlignes est un traitement inédit proposé en comparaison du traitement précédent. Cette parcelle se trouve sur une pente de 10 % et a nécessité un travail réduit du sol et un paillage des interlignes avant la plantation des ananas en sept rangs (densité : 40000pieds/ha).

Chacune de ces parcelles a été aménagée en parcelles d'érosion pour mesurer les pertes par érosion en sol et en C. Ces parcelles avaient une taille de 20x10 m² (soit 200 m²), excepté les parcelles « sol nu » dont la largeur n'était que de 5 m (soit 100 m²). Les données concernant l'érosion, le bilan hydrique et les pertes en nutriments sont présentées dans la thèse de Khamsouk (2001) et dans Roose et al. (1999).

2.3. Mesures des stocks de carbone C

Les stocks de carbone ont été mesurés avant l'installation des parcelles expérimentales au début de l'année 1999, alors que seule la culture de la banane était pratiquée et au début de l'année 2001, soit 2 ans après l'installation des parcelles expérimentales.

En 1999, 8 fosses pédologiques ont été ouvertes (à l'extérieur des futures parcelles d'érosion) : 4 fosses dans la zone de pente 10 %, 2 fosses dans la zone de pente 25 % et 2 fosses dans la zone de pente 40 %. Ces fosses mesuraient 1 m de profondeur, à l'exception d'une fosse dans la zone de pente 10 % dont la profondeur était égale à 2 m et qui était destinée à mesurer les stocks de C bien en dessous de la zone de travail du sol et d'enracinement des bananiers. Sur chacune de ces fosses, les stocks de C ont été mesurés pour les horizons 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 et 50-60 cm. Pour la fosse plus profonde, les stocks ont été également mesurés pour les horizons : 70-80, 110-120 et 150-160 cm. Pour chacun de ces horizons, la densité apparente du sol DA a été mesurée grâce à cinq cubes de 1000 cm³ (10x10x10 cm). Après séchage du sol à l'étuve à 105°C, la densité apparente (volume / poids sec de l'échantillon) a été calculée. Pour les mesures de teneurs en C, trois échantillons composites de sol ont été prélevés à

chaque horizon. Après séchage à 60°C et broyage à 200 µm, la teneur en carbone a été déterminée grâce à un micro-analyseur CNS (Carlo Erba 1500 NS). Enfin, les stocks de C ont été calculés selon la formule :

Stock C = teneur en C (mg/g) x densité apparente (g/cm³) x d (profondeur de l'horizon en dm).

En 2001, une fosse pédologique a été ouverte dans la partie amont de chacune des parcelles expérimentales (mais hors des parcelles d'érosion). Les stocks de C ont été mesurés de la même façon qu'en 1999.

Les variations de stocks en deux ans étant principalement superficielles, seuls les stocks sur les 30 premiers cm de sol seront présentés ici.

2.4. Mesures des pertes en carbone par érosion

Les parcelles d'érosion sont des surfaces rectangulaires fermées et cultivées qui débouchent à l'aval sur un canal de réception et des cuves calibrées pour le stockage d'eau et de sédiments (Roose, 1980). Le ruissellement et l'érosion sont directement mesurés dans les cuves de stockage après chaque averse érosive. Les trois paramètres : pluie, ruissellement et érosion ont été mesurés régulièrement. La pluie est caractérisée par sa hauteur d'eau (mm), son intensité maximale en 30 minutes (mm/h) et son agressivité (MJ.mm/(ha.h)) établies d'après les données de la station météorologique automatique. Le ruissellement a été défini selon deux paramètres : le coefficient de ruissellement annuel moyen Cram (%) qui correspond au rapport des hauteurs d'eau du ruissellement annuel sur la pluviosité annuelle et le coefficient de ruissellement maximal Crmax (%) qui représente le rapport des hauteurs d'eau du ruissellement maximal pour les averses les plus érosives de l'année. Enfin, l'érosion annuelle E (t/ha/an) a été déterminée par le poids sec total des sédiments (éléments grossiers et particules en suspension) issus des épisodes érosifs. Pour chacun de ces épisodes érosifs, une fraction des sédiments grossiers et de la terre en suspension a été prélevée pour le dosage du C (grâce à un micro-analyseur CNS Carlo Erba NS 1500). La teneur en C soluble de l'eau de ruissellement a également été mesurée grâce à un Shimadzu TOC-5000.

2.5. Mesures des pertes en carbone par drainage

Afin de mesurer le drainage et les pertes en C par drainage, des lysimètres ont été installés dans la bananeraie établie (BA11). Cinq lysimètres côniques (diamètre du cône 90 cm) à mèches capillaires ont été placés à 80 cm de profondeur sous des bananiers. Les cuves reliées aux lysimètres ont été relevées chaque semaine grâce à une motopompe (KhamSouk, 2001). Le volume d'eau drainée a ainsi pu être mesurée, et des analyses d'eau ont été effectuées pour le dosage du C soluble.

3. RESULTATS

3.1. Variations des stocks de C en deux ans

En 1999, avant l'installation des parcelles expérimentales, les stocks de C sous bananeraies établies présentent une forte variabilité spatiale. Pour la zone de pente 10 %, les stocks (sur 0-30 cm) varient de 26,84 à 33,53 tC/ha (moyenne 30,05 tC/ha, écart-type 2,93) (Tableau 2). Avec la pente, les stocks moyens augmentent : 32,03 tC/ha pour une pente de 25 % et 38,39 tC/ha pour une pente de 40 %.

Tableau 2. Stocks de C (0-30 cm) (en tC/ha) mesurés au début de l'expérience (1999).

	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3	Répétition 4	Moyenne
Pente 10 %	28,63	33,53	26,84	31,21	30,05
Pente 25 %	32,90	31,15			32,03
Pente 40 %	38,18	38,60			38,39

Après deux ans d'expérience, on observe pour une même zone de pente, des différences entre les situations expérimentales (Tableau 3). Quelle que soit la pente, le sol sous canne à sucre présente des stocks supérieurs au sol nu. Pour la zone de pente 10 %, on observe seulement de faibles différences entre les parcelles sous canne à sucre, bananes, ananas à plat (autour de 34 tC/ha). La situation ananas billonné présente une valeur légèrement plus faible (30 tC/ha) mais supérieure à celle mesurée sous sol nu (22,8 tC/ha).

Tableau 3. Stocks de C (0-30 cm) (en tC/ha) mesurés à la fin de l'expérience (2001) dans les différentes situations expérimentales.

	Sol Nu	Canne à sucre	Banane 1	Banane 2	Ananas à plat	Ananas billonné
Pente 10 %	22,80	34,24	33,68	34,05	33,28	30,07
Pente 25 %	27,77	30,99				
Pente 40 %	29,66	44,47				

Ainsi, par rapport aux valeurs moyennes de 1999, on observe des diminutions importantes de stocks de C dans les situations « sol nu » (pertes de 2 à 4 tC/ha/an en fonction de la pente) et une absence de variation pour la parcelle « ananas billonné » (Tableau 4). Toutes les autres situations montrent une augmentation des stocks (de 1 à 3 tC/ha/an) (excepté la canne à sucre sur pente de 25 % qui présente une légère baisse du stock de C).

Tableau 4. Variations des stocks de C (0-30 cm) (en tC/ha/an) au cours des deux années d'expérience.

	Sol Nu	Canne à sucre	Banane 1	Banane 2	Ananas à plat	Ananas billonné
Pente 10 %	- 3,62	+ 2,10	+ 1,82	+ 2,00	+ 1,62	+ 0,01
Pente 25 %	-2,12	- 0,52				
Pente 40 %	- 4,36	+ 3,04				

3.2. Pertes de C par érosion et drainage

- Pertes en terre par érosion

Les volumes d'eau ruisselée et infiltrée ainsi que les quantités de terre érodée au cours des deux années de mesure ont été présentés en détail par Khamsouk (2001). Il est important de noter que dans ces situations, l'essentiel de l'eau qui arrive au sol s'infiltré, une très faible quantité de l'eau ruisselle. Ainsi, le coefficient de ruissellement annuel moyen (Kram = rapport de la hauteur d'eau ruisselée sur la pluie totale) ne dépasse pas 15 % (valeur mesurée dans la parcelle « ananas billonné » en 2000). Il est compris entre 0 et 4 % pour les parcelles paillées sous canne à sucre, ananas et banane. Les pertes totales en terre pour les deux années de mesure (sous forme de sédiments grossiers ou de terre en suspension) sont présentées dans le Tableau 5.

Tableau 5. Pertes en terre totales (sédiments grossiers et suspensions) (en t/ha) pour les deux années de mesure (1999 + 2000) dans les différentes situations expérimentales (d'après Khamsouk, 2001).

	Sol Nu	Canne à sucre	Banane 1	Banane 2	Ananas à plat	Ananas billonné
Pente 10 %	171,6	0,11	0,8	1,0	0,08	34,3
Pente 25 %	254,9	0,10				
Pente 40 %	294,8	0,22				

Elles sont importantes pour les parcelles « sol nu » (entre 170 t/ha pour la pente de 10 % et 300 t/ha pour la pente de 40 % en deux ans). Elles sont encore relativement importantes en ce qui concerne la parcelle « ananas billonné » et très faibles (inférieures à 1 t/ha) dans les autres situations (canne à sucre, bananes, ananas à plat).

- Pertes en C par érosion

Les pertes en C par érosion suivent le même schéma que les pertes en terre, c'est-à-dire qu'elles sont majoritairement représentées dans les sédiments grossiers et assez faiblement dans les suspensions (Tableau 6). Sur les sols nus, où les pertes en terre sous forme de sédiments grossiers sont importantes, les pertes en C sous cette forme varient en fonction de la pente de 2,5 à 6 tC/ha/2 ans. Elles sont de 580 kgC/ha/2 ans dans la parcelle « ananas billonné » et seulement de quelques kg/ha/2 ans pour les autres parcelles. Les pertes en C sous forme de suspensions sont très faibles avec une valeur maximale de 13 kg/ha/2 ans mesurée pour la parcelle « sol nu » sur 40 % de pente. Enfin, les pertes en C sous forme soluble dans l'eau de ruissellement sont maximales dans la parcelle « ananas billonné » (52,4 kgC/ha/2 ans), minimales sous canne à sucre (autour de 3 kgC/ha/2 ans) et intermédiaires dans les autres parcelles.

- Pertes en C par drainage

En raison du faible ruissellement observé sous canne à sucre et sous l'ananas à plat, la majorité de l'eau s'infiltre et les pertes en C dans les eaux de drainage sont donc relativement importantes sous ces cultures : autour de 80 kgC/ha/2 ans. Dans les autres situations, les pertes en C soluble par drainage sont légèrement plus faibles (entre 50 et 60 kg/ha/2 ans) (Tableau 6).

- Pertes en C total

En cumulant l'ensemble des pertes en C sous forme solide (sédiments grossiers et suspensions) ou soluble (dans les eaux de ruissellement et de drainage), on observe que les pertes en C sont relativement importantes dans les parcelles « sol nu » ; elles varient de 2,5 à plus de 6 tC/ha/2 ans. Elles sont encore relativement importantes dans la parcelle « ananas billonné » (693 kgC/ha/2 ans) et assez faibles dans les parcelles paillées, avec des pertes similaires pour la canne à sucre, la banane et l'ananas à plat (autour de 90-100 kgC/ha/2 ans) (Tableau 6).

Tableau 6. Pertes en C (en kgC/ha/2 ans) par érosion et drainage pour les deux années de mesure (1999 + 2000) dans les différentes situations expérimentales.

	Sol Nu	Canne à sucre	Banane 1	Banane 2	Ananas à plat	Ananas billonné
Sédiments grossiers						
Pente 10 %	2488	2	23	19	2	580
Pente 25 %	4537	2				
Pente 40 %	5984	4				
Suspensions						
Pente 10 %	9,2	1,1	4	2,9	0,8	8,5
Pente 25 %	11,2	1,2				
Pente 40 %	13,1	2,1				
Ruissellement						
Pente 10 %	25,4	3,2	18,1	13,2	9	52,4
Pente 25 %	24,2	2,8				
Pente 40 %	19,7	3,3				
Drainage						
Pente 10 %	53	80	62,5	62,5	79,1	51,9
Pente 25 %	57,3	85,8				
Pente 40 %	59,3	84,1				
Total						
Pente 10 %	2575,6	86,3	107,6	97,6	90,9	692,8
Pente 25 %	4629,7	91,8				
Pente 40 %	6076,1	93,5				

4. DISCUSSION

4.1. Effet des systèmes de culture sur les pertes en C

Les résultats de notre étude montrent qu'il existe (outre les parcelles "sol nu") trois comportements des cultures vis-à-vis des pertes en C sous formes solide et soluble :

- les traitements qui perdent de grandes quantités de C, principalement sous forme de sédiments grossiers (84 % des pertes totales) et sous forme soluble (15 %) : il s'agit de la parcelle "ananas mécanisé et billonné" dont le travail du sol et le billonnage favorisent le ruissellement et l'érosion ;
- les traitements où les pertes en C sont relativement peu importantes mais où les sédiments grossiers et l'eau de ruissellement représentent une partie non négligeable des pertes (respectivement 21 et 15 % des pertes totales) : il s'agit principalement des bananeraies établies pour lesquelles la litière au sol limite fortement l'érosion. Ces résultats confirment ceux observés sous des bananeraies au Burundi qui indiquent que la perte en terre et en C est proportionnelle à la quantité de litière apportée au sol (Rhishirumuhirwa & Roose, 1998). De plus, les résultats de perte en C par érosion et drainage obtenus dans cette étude sont très voisins de ceux obtenus par Roose et Godefroy (1977) en Côte d'Ivoire ;
- enfin, les traitements où les pertes en C sont les plus faibles et où les sédiments grossiers et l'eau de ruissellement participent assez peu aux pertes totales (respectivement 3 et 3-10 %), la majorité des pertes se faisant sous forme soluble

dans les eaux de drainage (87 à 92 %) : il s'agit des parcelles en canne à sucre et ananas à plat où la bonne couverture du sol assurée par les résidus disposés dans les inter-rangs protègent la surface du sol contre l'érosion hydrique.

4.2. Bilans de C à l'échelle de la parcelle

L'établissement de bilans de C à l'échelle de la parcelle nécessite de connaître les entrées, les sorties de C et les variations de stocks de C au sein du système (Figures 1 et 2).

- Sorties de C

Notre étude permet de connaître avec une bonne précision les sorties de C sous forme solide et soluble ; en revanche, nous n'avons pas d'indication sur les sorties de C sous forme gazeuse (par minéralisation de la matière organique et production de CO_2 et CH_4). Celles-ci pourront être estimées à partir du calcul des bilans.

- Variations des stocks de C

Notre étude fournit également les variations des stocks de C au cours des 2 années de mesure et bien qu'étant sujettes à de fortes variations spatiales qui empêchent de valider statistiquement les différences observées, elles nous serviront dans le calcul de ces bilans de C.

- Entrées de C

Les entrées aériennes de C ont été calculées dans nos différentes situations expérimentales à partir des données de la littérature et basées sur les apports de litière au sol (apports initiaux des résultats de bananiers et apports au cours des deux années de mesure) et des teneurs en C de ces litières (Marchal & Mallesard, 1979 ; Lassoudière, 1980). Ainsi, les apports de C sous forme de litière ont été estimés à 14,25, 15,85, 10,65 et 10,65 tC/ha/2 ans respectivement dans les parcelles de banane, canne à sucre, ananas à plat et ananas billonné. Dans les parcelles « sol nu », les rares entrées de C se font sous forme d'adventices ; elles ont été estimées à 50 gC/ha/2 ans.

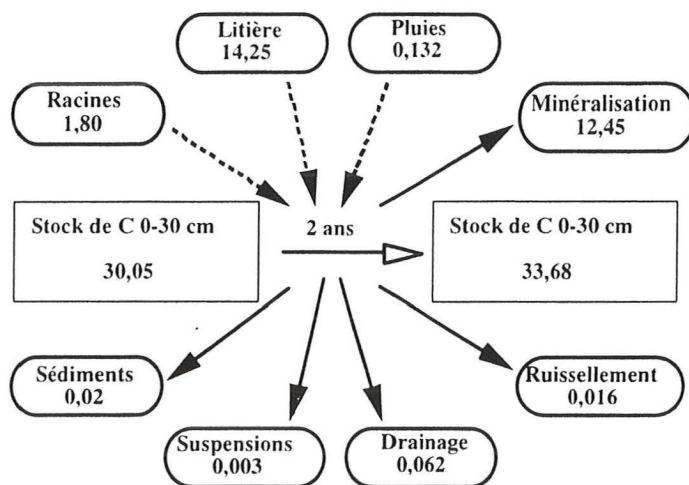
En revanche, les données concernant les entrées de C via les systèmes racinaires sont assez imprécises ; elles peuvent être aussi élevées que les apports de C à la surface du sol. Sous bananiers, elles sont assez faibles (en raison du faible développement racinaire de ces plantes) et ont été estimées à 1,8 tC/ha/2 ans (Lassoudière, 1980). Pour les parcelles en canne à sucre et ananas, elles n'ont pas pu être estimées en raison du manque de données dans la littérature. Dans les parcelles « sol nu », ces entrées devraient être assez proches des entrées aériennes, c'est-à-dire 50 gC/ha/2 ans.

Les entrées aériennes doivent tenir compte également des apports non négligeables par la pluie (Roose, 1980). S'appuyant sur des données de la littérature, nous avons utilisé des valeurs moyennes de 3 ppm, ce qui nous donne (en ramenant aux volumes de pluie mesurés) un apport en C sur deux ans de 0,132 tC/ha.

- Bilans de C

En tenant compte des variations (augmentation ou diminution) des stocks de C en deux ans, des entrées et des sorties connues de C, il est possible de dresser des bilans de C et d'estimer les pertes de C sous forme gazeuse, donnée manquante de notre étude. Dans les parcelles cultivées, il ressort que les pertes de C sous forme gazeuse atteignent 12,45 tC/ha/2 ans dans les bananeraies (Figure 1) et sont supérieures à 11,69 tC/ha/2 ans (sous canne à sucre) et à 10,07 tC/ha/2 ans (sous ananas billonné), les entrées racinaires n'ayant pas été comptabilisées dans ces deux systèmes. Ainsi, dans ces systèmes et pour cette zone pédo-climatique, les pertes en C sont très majoritairement dues à la minéralisation des matières organiques (plus de 10 tC/ha/2 ans) alors que les pertes totales sous formes solide et soluble ne représentent qu'environ 0,1 tC/ha/2 ans en canne à sucre, banane et ananas à plat et 0,7 tC/ha/2 ans en ananas billonné. En ce qui concerne les parcelles « sol nu » où les termes du bilan sont connus avec une bonne précision, les pertes de C sous forme gazeuse sont calculées comme étant égales à 4,81 tC/ha/2 ans ; elles sont donc similaires aux pertes en C par érosion et drainage (variant en fonction de la pente de 2,5 à 6 tC/ha/2 ans) (Figure 2).

Bananeraie pérenne



Canne à sucre

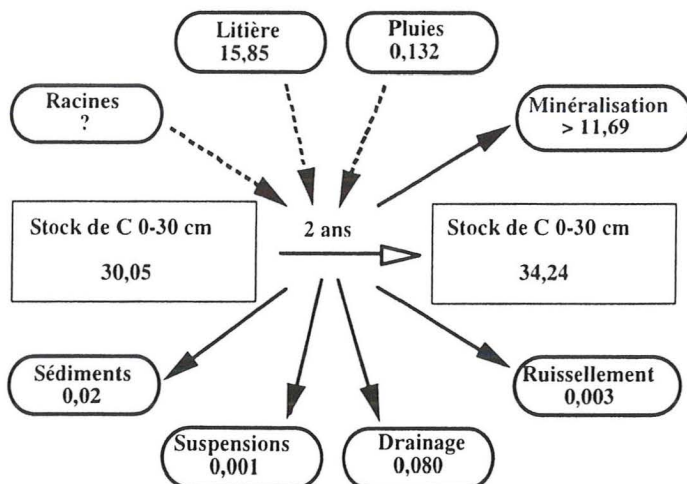
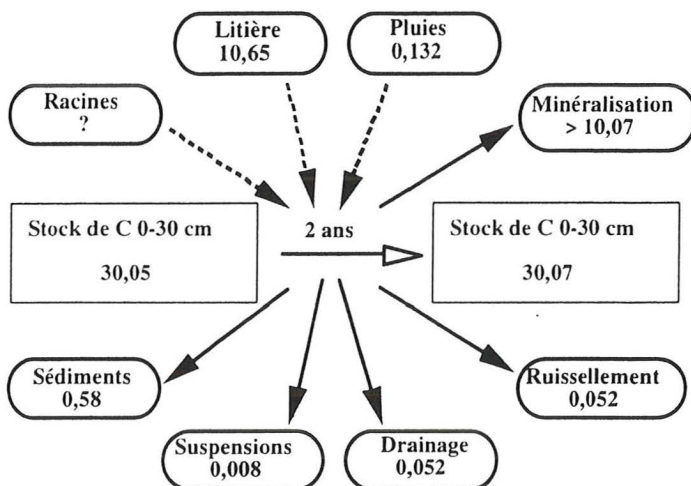


Figure 1 : Bilans de C dans les parcelles "banane pérenne" et "canne à sucre" indiquant les variations de stocks en 2 ans (sur 0-30 cm), les entrées de C (sous forme de litières, racines et pluies) et les sorties de C (par érosion, drainage et minéralisation).

Ananas mécanisé et billonné



Sol nu

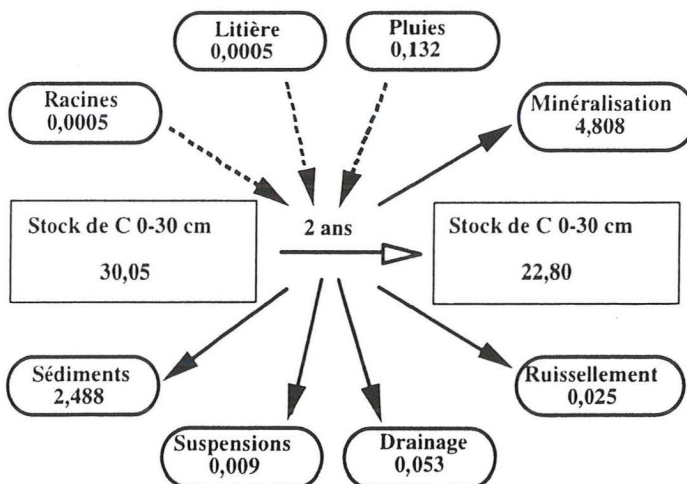


Figure 2 : Bilans de C dans les parcelles "ananas billonné" et "sol nu" indiquant les variations de stocks en 2 ans (sur 0-30 cm), les entrées de C (sous forme de litières, racines et pluies) et les sorties de C (par érosion, drainage et minéralisation).

CONCLUSION

Les bananeraies cultivées en Martinique sur sol brun-rouille à halloysite se caractérisent par des pertes en terre et en C par érosion relativement faibles tant que les sols sont bien couverts par les résidus de culture ; hors les pertes gazeuses par minéralisation (très importantes), le C est principalement exporté sous forme soluble dans les eaux de drainage et de ruissellement. La mise en place de rotations dans la culture bananière induit des différences importantes selon qu'il s'agit de la canne à sucre et de l'ananas à plat d'une part, et de l'ananas mécanisé et billonné d'autre part. Pour la canne à sucre et l'ananas à plat, les pertes en C sous forme soluble et solide sont légèrement diminuées par rapport à la bananeraie pérenne. En revanche, l'ananas cultivé de façon traditionnel (mécanisé et billonné) entraîne des pertes importantes (7 fois supérieures) en C sous ces formes soluble et solide. La raison de ces différences est principalement liée à la présence de résidus de culture à la surface du sol dans les cultures de canne à sucre ou d'ananas à plat.

Les parcelles en sol nu nous ont permis de montrer que les pertes en C par érosion et drainage étaient du même ordre de grandeur que celles par minéralisation. La minéralisation de la matière organique du sol, dans cette situation (en l'absence d'apports aériens ou souterrains), égale à une émission moyenne de 2,4 tC/ha/an (4,8 tC/ha/2 ans), se produit vraisemblablement aussi dans les parcelles cultivées.

BIBLIOGRAPHIE

- Agreste DOM, 1999.** Regard sur l'agriculture dans les Départements d'Outre-Mer. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 55 pages.
- Balland P., Mestres R. & Fagot M., 1998.** Rapport sur l'évaluation des risques liés à l'utilisation des produits phytosanitaires en Guadeloupe et en Martinique. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Rapport n° 1998-0054-01, 96 pages.
- Bouwmann A.F., 1989.** Soils and the greenhouse effect. John Wiley, New York.
- Chabrier C. & Dorel M., 1998.** Projet d'étude – "Impact des pesticides sur l'environnement : étude de la contamination des eaux de ruissellement". Document CIRAD-FHLOR, Martinique, 7 pages.
- Colmet-Daage F. & Lagache P., 1965.** Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles Françaises. *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie*, 3 : 91-121.
- Detwiler R.P., 1986.** land use change and the global carbon cycle : the role of tropical soils. *Biogeochemistry*, 2 : 67-93.
- Dorel M., Lafforgue A., Bretau P. & Le Breton M., 1996.** Etude de la contamination des eaux de ruissellement par les pesticides utilisés en bananeraie. Rapport final du Projet CORDET 93DA14, CIRAD/ORSTOM, 28 pages.
- Feller C., Albrecht A. & Tessier D., 1996.** Aggregation and organic carbon storage in kaolinitic and smectitic soils. In Carter M.R. (ed) Structure and organic matter storage in agricultural soils. *Advances in Soil Science*, CRC Press, Boca Raton : 309-359.
- Khamsouk B., 2001.** Impact de la culture bananière sur l'environnement. Influence des systèmes de cultures bananières sur l'érosion, le bilan hydrique et les pertes en nutriments sur un sol volcanique en Martinique (cas du sol brun-rouille à halloysite). Thèse de Doctorat de l'ENSA-Montpellier, 174 pages + annexes.
- Lassoudière A., 1980.** Matière végétale élaborée par le bananier Poyo depuis la plantation jusqu'à la récolte du deuxième cycle. *Fruits*, 35 : 405-446.

- Lugo A.E. & Brown S., 1993.** Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbon. *Plant and Soil*, 149 : 27-41.
- Marchal J. & Mallessard R., 1979.** Comparaison des immobilisations minérales de quatre cultivars de bananiers à fruits pour cuisson et de deux "Cavendish". *Fruits*, 34 : 373-392.
- Rishirumuhirwa T. & Roose E., 1998.** The contribution of banana farming systems to sustainable land use in Burundi. *Adv. GeoEcol.*, 31 : 1197-1204.
- Roose E., 1980.** Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Travaux et Documents ORSTOM, 130, 587 pages.
- Roose E. & Godefroy J., 1977.** Pédogenèse actuelle comparée d'un sol ferrallitique remanié sur schiste sous forêt et sous une bananeraie fertilisée de basse Côte d'Ivoire, Azaguié : 1968 à 1973. *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie*, 15 : 409-436.
- Roose E., Khamsouk B., Lassoudière A. & Dorel M., 1999.** Origine du ruissellement et de l'érosion sur sols bruns à halloysite de Martinique. Premières observations sous bananiers. *Bulletin du Réseau Erosion*, 19 : 139-147.
- Schlesinger W.H., 1984.** Soil organic matter : a source of atmospheric CO₂. In Woodwell G.M. (ed) The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle : measurement by remote sensing. John Wiley & Sons, Londres, 11-27.
- Turner D.P., Winjum J.K., Kolchugina T.P. & Cairns M.A., 1997.** Accounting for biological and anthropogenic factors in national land-base carbon budgets. *Ambio*, 26 : 220-226.
- Wischmeier W.H., Johnson C.B. & Cross B.V., 1971.** A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil Water and Conservation*, 26 : 189-192.